

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧電基板の両主表面に互いに対向するの励振用の主電極と該主電極の周縁を間隙をあけて囲む一対の第 2 電極を配置した圧電振動子において、前記主電極と前記第 2 電極との材質を互いに異にしたことを特徴とする高周波圧電振動子。

【請求項 2】 前記第 2 電極の材質の密度を前記主電極の密度より小さくすると共に、主電極、第 2 の電極及び間隙の値を斜対称 0 次モードが閉じ込めモードとならないように設定したことを特徴とする請求項 1 記載の高周波圧電振動子。

【請求項 3】 前記圧電基板を凹陥部を形成した圧電基板としたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の高周波圧電振動子。

【請求項 4】 前記主電極の形状を楕円状としたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 記載の高周波圧電振動子。

【請求項 5】 圧電基板一方の主面を凹陥して形成した薄肉部の凹陥部と対向する主面中央部に凸部を形成すると共に、該凸部上に励振用主電極を形成し、該主電極からリード電極を基板端部に向けて延在した上で、前記主電極および前記リード電極を間隙を開けて取り囲むように第 2 電極を設け、前記圧電基板の凹陥部側には全面電極を施したことを特徴とする高周波圧電振動子。

【請求項 6】 前記凸部を楕円状としたことを特徴とする請求項 5 記載の高周波圧電振動子。

【請求項 7】 前記第 2 電極を複数に分割すると共に該電極に周波数調整を施すことを特徴とする請求項 1 乃至 6 記載の高周波圧電振動子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は高周波圧電振動子に関し、特にスプリアスを抑圧した高周波圧電振動子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、通信機器の高周波化、データ処理の高速化、大容量化等に伴って、これらの装置に用いられる圧電デバイスの高周波化が強く要望されている。AT カット水晶振動子の高周波化に関する開発が進められており、その周波数は数百 MHz まで達している。周知の様に、AT カット水晶振動子の振動モードは厚みすべ

り振動であるため、その周波数は水晶基板の厚さに反比例し、高周波化には水晶基板の厚さを薄くする必要がある。図 7 は従来の高周波 AT カット水晶振動子の構成を示す図であって、図 5 (a) は平面図、同図 (b) は断面図である。水晶基板 21 の一方の主面の一部を、例えばフォトリソグラフィ技術とエッチング手段とを用いて凹陥せしめ、該凹陥部 22 を超薄肉の振動部とすると共に、該振動部の周囲を保持する厚肉の環状囲繞部とを一体的に形成している。そして、水晶基板 21 の一方の主面（平坦面）上には電極 23 を配置すると共に、該電極 23 からリード電極 25 を基板 21 の端部に延在する。さらに、他方の面、即ち凹陥部 22 を形成した面には全面電極 24 を形成する。なお、図 7 に示す構造の AT カット高周波水晶振動子のエネルギー閉じ込めは、周知のように、電極 23 の質量負荷にのみ依存し、他方の面の全面電極 24 の質量負荷には依存しない。

【0003】図 8 は、図 7 に示した構造の AT カット高周波水晶振動子の周波数スペクトルを測定した一例を示す図であって、共振周波数を 156.6MHz（水晶基板 21 の厚さは約 10μm）に設定し、電極 23 の X 軸方向の寸法を 0.55mm、Z' 軸方向の寸法を 0.435mm、電極 23 として厚さ 50Å のニッケルを下地に、600Å の金の薄膜を付着した。尚、全面電極 24 の膜材料もほぼ同様とした。図 8 の周波数スペクトルから明らかなように、基本波モードと共に多数のインハーモニックモードまでが閉じ込めモードとなり、これらがスプリアスとして強勢に励起されている。このような水晶振動子を発振器に用いると周波数ジャンプ現象を生ずるおそれがある。

【0004】図 8 に示したような厚みすべり振動子におけるスプリアスモードの解析手段として、エネルギー閉じ込め理論がよく知られており、ここで簡単に説明する。図 9 は通常の AT カット水晶振動子の断面を示す図であって、厚さを H とした円板状の水晶基板 31 の直径を 2b、付着した電極 32 の直径を a とし、電極 32 部及び基板 31 部のカットオフ周波数をそれぞれ f_1 、 f_2 とする。ここで、周波数低下量 Δ 、エネルギー閉じ込め係数 ξ 及び基準化周波数 ϕ はそれぞれ次のように表現されるのが一般的である。

【0005】

【数 1】

$$\Delta = \frac{(f_2 - f_1)}{f_1} \dots\dots\dots (1)$$

【0006】

【数 2】

$$\xi = \frac{na}{H} \sqrt{\Delta} \dots\dots\dots (2)$$

【0007】

【数 3】

$$\phi = \frac{(f - f_1)}{(f_2 - f_1)}$$

【0008】ここで、 n はオーバートーン次数であり、基本波のときは $n=1$ である。図10は横軸をエネルギー閉じ込め係数 ζ とし、縦軸を基準化周波数 ϕ として、図9の構造の水晶振動子の周波数スペクトルを計算により求めたものである。一般に、スプリアスの少ない振動子を設計するには、対称1次モード S_1 が閉じ込めに入る寸前のエネルギー閉じ込め係数 $\zeta=0.707$ を用いるのがよいとされている。ここで、図10は基板を等方弾性体と見なして計算しているが、水晶のように異方性を有する圧電基板に適用する場合、異方性定数を乗じてそれぞれの長さを補正すればよいことはよく知られている。因みに、水晶振動子の厚みねじれ振動、厚み滑り振動に対しては、それぞれエネルギー閉じ込め係数 $\zeta=2.4$ 、 2.8 が最適とされている。ここで、図8に示した高周波水晶振動子の閉じ込め係数 ζ を式(2)に従って求めてみると、 $\zeta=5.7$ となって最適値よりはるかに大きい値であることが分かる。そのため、前述したように高次の振動モードも閉じ込めモードとなり、多くのスプリアスが強勢に励起されている。

$$\Delta 2 = \frac{(f_3 - f_1)}{f_1}$$

【0011】

$$\nu = \frac{(f_2 - f_3)}{(f_3 - f_1)}$$

【0012】上記公報によれば、主電極42a、42bの質量負荷(膜厚)をどのように設定しても、第2電極44a、44bの質量負荷(膜厚)をそれに応じて適宜設定すれば、エネルギー閉じ込め係数 ζ に関与する周波数低下量 $\Delta 2$ を所望の値まで低減することが可能となる。そのためエネルギー閉じ込め係数 ζ を容易に制御可能となり、スプリアスの少ない水晶振動子を製作できるという。さらに、溝深さ v と、主電極42a、42bの対する第2電極44a、44bの両端部までの距離 q 及び b との比 q/a 、 b/a を、それぞれ適切に設定することにより、高次対称、斜対称モードの発生するエネルギー閉じ込め係数 ζ 上の値をある程度任意に制御することができると述べている。従って、この提案を採用すれば、インハーモニックモードを閉じ込めモードとすることなく所望の主振動のみを強勢に励起することができることになる。

【0013】

..... (3)

【0009】一方、ATカット水晶振動子のスプリアス特性を改善すべく、電極長や膜厚に関係なく、スプリアスの発生周波数をある程度任意に制御できる圧電共振子が、特開平9-27729号公報及び特開平9-93076号公報に提案されている。図11(a)は上記提案の水晶振動子の平面図、同図(b)は断面図である。水晶基板41の中心部の両面に主電極42a、42bを配置すると共に、該電極42a、42bの周縁を囲むように間隙をあけて第2電極44a、44bを配設する。主電極42a、42b、間隙部及び第2電極44a、44bのそれぞれのカットオフ周波数を図9(b)に示すように f_1 、 f_2 、 f_3 とする。ここで、カットオフ周波数の大小関係は $f_1 < f_3 < f_2$ となるように電極膜厚をそれぞれ設定する。また、第2の周波数低下量 $\Delta 2$ 、間隙の深さ v (以下、溝深さと称す)として、それぞれ次のように定義する。

【0010】

【数4】

..... (4)

【数5】

..... (5)

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記提案を150MHz帯の高周波水晶振動子に適用し、エネルギー閉じ込め係数 ζ を0.521として、図8に示した電極形状を用いて周波数低下量 $\Delta 2$ を求めると $\Delta 2=0.0014$ となり、主電極、第2電極共に金の薄膜を用いると、主電極と第2電極との膜厚差は21.8Åとなる。この膜厚差を実現するにはその値の10%程度の精度が必要となり、通常の蒸着装置あるいはスパッター装置の制御限界を越えている。また、斜対称 A_0 モードの発生をみとめて、エネルギー閉じ込め係数 ζ を S_1 モードが閉じ込める寸前の値を用いたとしても、主電極と第2電極との膜厚差は僅かに40Åである。このような小さな膜厚差を10%程度の精度で制御することは事実上不可能であり、例え可能な成膜装置が実現できたとしても極めて高価なものとなるという問題があった。

【0014】また、図7に示す様なATカット高周波水晶振動子をエッチング手段を用いて形成する場合、エッ

チング加工前の水晶基板、例えば厚さ $80\mu\text{m}$ の基板の表面状態を維持しながら板厚が $10\mu\text{m}$ となるまでエッチングされる。そのため板厚 $80\mu\text{m}$ の基板にあつてはさほど問題とならなかった平面度、平行度のみだれば、板厚が $10\mu\text{m}$ となったエッチング基板からみると相対的に極めて大きなものとなり、通常的水晶振動子では電荷が相殺されて問題とならないはずの斜対称モード A_0 、 A_1 が薄肉の振動部においては強烈なスプリアスとして出現する。このため、スプリアス抑圧に最適なエネルギー閉じ込め係数 ζ は、対称1次モード S_1 が閉じ込めに入る寸前の値ではなく、斜対称モード A_0 が閉じ込めにならないように、十分小さなエネルギー閉じ込め係数 ζ を用いるなければならないという問題があった。本発明は上記問題を解決するためになされたものであって、スプリアスの少ないATカット高周波水晶振動子を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明に係る高周波圧電振動子の請求項1記載の発明は、圧電基板の両主表面に互いに対向する励振用の主電極と該主電極の周縁を間隙をあけて囲む一対の第2電極を配置した圧電振動子において、前記主電極と前記第2電極との材質を互いに異にしたことを特徴とする高周波圧電振動子である。請求項2記載の発明は、前記第2電極の材質の密度を前記主電極の密度より小さくしたことを特徴とする請求項1記載の高周波圧電振動子である。請求項3記載の発明は、前記圧電基板を凹陷部を形成した圧電基板としたことを特徴とする請求項1または2記載の高周波圧電振動子である。請求項4記載の発明は、前記主電極の形状を楕円状としたことを特徴とする請求項1乃至3記載の高周波圧電振動子である。請求項5記載の発明は、圧電基板一方の主面を凹陷して形成した薄肉部の凹陷部と対向する主面中央部に凸部を形成すると共に、該凸部上に励振用主電極を形成し、該主電極からリード電極を基板端部に向けて延在した上で、前記主電極および前記リード電極を間隙を開けて取り囲むように第2電極を設け、前記圧電基板の凹陷部側には全面電極を施したことを特徴とする高周波圧電振動子である。請求項6記載の発明は、前記凸部を楕円状としたことを特徴とする請求項5記載の高周波圧電振動子である。請求項7記載の発明は、前記第2電極を複数に分割すると共に該電極に周波数調整を施すことを特徴とする請求項1乃至6記載の高周波圧電振動子である。

【0016】

【発明の実施の形態】以下本発明を図面に示した実施の形態に基づいて詳細に説明する。図1は本発明に係るA

Tカット高周波水晶振動子の構成を示す図であつて、同図(a)は平面図、同図(b)はQ-Qにおける断面図である。一方の面を凹陷部に形成した水晶基板1の平坦側に主電極(励振電極)2を配置すると共に、該電極2から基板1端部に向けてリード電極3を延在する。さらに、主電極2の周縁を間隙4をあけて取り囲むように第2電極5を設けると共に、該電極5の大きさは基板1に形成した凹陷部6とほぼ同じ大きさとする。そして、凹陷側には全面電極(励振電極)7を形成する。主電極2、間隙4及び第2電極5の寸法を図1(b)に示すように設定する。即ち、水晶基板1の厚さをH、主電極2、間隙4及び第2電極5の形状をZ'軸方向に対して対称とし、主電極2の中心から主電極2の端縁までの長さをa、第2電極5の内側端及び外側端までの寸法をそれぞれq及びbとする。

【0017】本発明の特徴は主電極(励振電極)2と第2電極5との電極材質を互いに異にしたことである。さらに詳しくは、第2電極5の電極膜密度を主電極2の電極膜密度より小さなものを用いて形成したことである。例えば、水晶振動子のエージングを考慮して主電極2に金の薄膜を用い、エージング特性に対する影響が少ない第2電極5には銀の薄膜を用いる。金と銀の密度はそれぞれ 19.32g/cc 、 10.50g/cc であるので、上記のような構成にすると主電極2の膜厚に比べ第2電極5の膜厚が2倍程度と厚くなり、両電極共に金の薄膜を用いた場合に比べ、エネルギー閉じ込めに関与する膜厚の制御がはるかに容易になる。主振動のみをエネルギー閉じ込めモードとするには、第2電極5の膜厚は主電極2に比べて厚くするが、第2電極5のカットオフ周波数 f_2 は主電極2のカットオフ周波数 f_1 より高くなるように設定する必要がある。間隙部4のカットオフ周波数を f_3 とすると、それぞれのカットオフ周波数の関係は $f_1 < f_3 < f_2$ となる必要がある。ここで、従来の圧電振動子の膜厚制御に比べてどの位容易になるかをシミュレーションによって確かめてみる。

【0018】図1(b)に示したように主電極2の中心を原点(0)とし、各電極部の寸法を上記のように設定し、水晶基板1を等方弾性体と見なし厚みすべり振動の一次元解析を行った。前掲した特開平9-27729は基板1の端部を自由端として求めた周波数方程式を用いて解析を行っているが、本発明のように振動部の周辺を環状囲繞部によって保持された振動子では、振動部の端部を固定端として求めるべきであり、周波数方程式は次式のようになる。

【0019】

【数6】

$$\frac{k_2}{k_1} \cot k_1 a = \frac{\tanh k_2(q-a) + \frac{k_2}{k_3} \tanh k_3(b-q)}{1 + \tanh k_2(q-a) \cdot \frac{k_2}{k_3} \tanh k_3(b-q)} \dots\dots\dots (6)$$

【0020】この周波数方程式は、基板端部を固定端としたことにより、波動が端面で反射し位相が反転する現象が考慮されている。ここで、波数 k_1 、 k_2 、 k_3 はそれぞれ主電極2部、間隙4部及び第2電極5部の伝搬定数(波数)である。図2は、パラメータとして長さ寸法比 $b/a=1.7$ 、 $q/a=1.18$ 及び溝深さ $v=29.4$ を用い、横軸をエネルギー閉じ込め係数 ζ とし、縦軸を基準

$$\phi' = \frac{(f-f_1)}{(f_3-f_1)}$$

【0022】尚、前述したように横軸の閉じ込め係数 ζ は等方性の基板を用いた場合の値であり、水晶のような異方性を有する基板を用いた場合には、閉じ込め係数 ζ に異方性定数を掛けて補正すればよい。

【0023】本発明のもう一つの特徴は、斜対称モードを抑圧するために従来定説となっていた閉じ込め係数 ζ の値を変えたことである。共振周波数が150MHz程度と高周波になると、前掲した特開平9-27729号公報及び特開平9-93076号公報にて述べられている内容と異なり、基板の平面度、平行度のみだれやリード電極3が斜対称モードの発生に関与するようになり、斜対称モードも励振されるようになる。これは、基板の平面度、平行度がみだれやリード電極による物理的な対称性がくずれると、斜対称モードも完全な斜対称モードとはならない。そのため、電極によって発生電荷が完全には相殺されず、励起されるようになる。従って、エネルギー閉じ込め係数 ζ の値としては、従来から定説となっている S_1 モードが閉じ込めモードに入る寸前の値ではなく、その値より小さくして斜対称 A_0 モードを抑圧することが必要となる。望ましくは斜対称 A_0 モードが閉じ込めに入る寸前の値、即ち図2に示した条件、 $b/a=1.7$ 、 $q/a=1.18$ 、 $v=29.4$ の場合には $\zeta=0.67$ 程度が最適である。本発明に係る高周波圧電振動子の最適エネルギー閉じ込め係数 ζ の値は、単一電極の場合と異なり、 b/a 、 q/a 、 v 等の条件を与えないと一義的に決められない。

【0024】図3は本発明に係わるATカット高周波水晶振動子の周波数スペクトルを示す図である。共振周波数を156.6MHz(水晶基板1の厚さは約10 μ m)に設定し、電極2のX軸方向の寸法を0.55mm、Z'軸方向の寸法を0.435mm、電極2として厚さ50Åのニッケルを下地に、その上に600Åの金の薄膜を付着し、第2電極5として厚さ50Åのニッケルを下地に、1100Åの銀の膜を付

化周波数 ϕ' としたときの主振動 S_0 、斜対称0次モード A_0 及び対称1次モード S_1 の周波数スペクトルを表したものである。ここで、基準化周波数 ϕ' は次式で表される。

【0021】
【数7】

$$\dots\dots\dots (7)$$

着した。各部の寸法は $b/a=1.7$ 、 $q/a=1.18$ としてある。このときのエネルギー閉じ込め係数 ζ は0.521となり、図2から斜対称0次モード A_0 は閉じ込めモードとはなっていないことがわかる。尚、全面電極7の膜も主電極2とほぼ同様な構成とした。図8と比較すると、主電極2の定数は同一であるが、スプリアスをよく抑圧していることがわかる。このとき主振動の等価抵抗 R_1 は約15 Ω であり、スプリアス抑圧による主振動の等価抵抗の劣化はみられなかった。また、主電極2の金の膜厚が600Å、第2電極5の銀の膜厚が1100Åと、前記公報と異なり、主電極、第2電極とも十分に制御可能な膜厚となっており、従来の真空装置で容易に製造可能である。

【0025】図4は本発明に係る第二の実施例の構成を示す平面図であり、図1の第2電極5を分割し、分割電極5'、5'・・・にリード電極T1、T2、T3、T4を設けたものである。水晶基板1の平面度、平行度にわずかにみだれがある場合、あるいは電極膜に不均一性がある場合には、第2電極5'、5'・・・の周波数を調整することにより斜対称モードによるスプリアスを抑圧することが可能である。例えば、製作した高周波振動子にスプリアスが発生した場合、図4に示す端子T1、T2、T3、T4を用いてその周波数を測定し、蒸着等の手段を用いて周波数の高い部分を微調整すればよい。

【0026】図5は本発明に係る第三の実施例の要部である主電極および第2電極の平面図を示した図である。図1と異なるところは、図1(a)に示した主電極(励振電極)2として楕円状の主電極(励振電極)2aを配置すると共に、該主電極2aの周縁を間隙をあけて取り囲むように、中心部に楕円状の孔をあけ周辺は圧電基板1の凹陥部6にほぼ対応した第2電極5aを設けたことである。圧電基板の凹陥部には全面電極を施すことは図1と同様である。主電極2aを楕円状にした理由は、主

振動の 2 次元的振動変位分布を有限要素法を適用して求めてみると、圧電基板の結晶軸の異方性により主振動の変位分布は楕円状に分布することが分かる。このため、主振動の振動変位分布に合わせて主電極および第 2 電極を楕円状に形成した高周波振動子を製造すると、スプリアスも抑圧され、容量比が最小となる振動子が得られるからである。

【0027】また、図 6 (a) は本発明に係る第四の実施例の構成を示す平面図、(b) は Q-Q' における断面図である。エッチング等の手段を用いて、水晶基板 1 の一方の主面のほぼ中央部に凸部 T を形成すると共に、他方の主面に凹陷部 6 を形成した後、前記凸部 T 上に主電極（励振電極）2 b を配置して、該電極 2 b から水晶基板 1 の端部にむけてリード電極 3 b を延在し上で、主電極 2 b とリード電極 3 b との周縁を間隙をあけて取り囲むように、第 2 電極 5 b を設ける。さらに、水晶基板 1 の凹陷側に全面電極（励振電極）7 を形成して高周波水晶振動子を構成する。

【0028】第四の実施例の特徴は、圧電基板 1 に予め凸部 T を形成した後、該凸部 T 上に主電極 2 b を形成するので、主電極 2 b、リード電極 3 b および第 2 電極 5 b のそれぞれの電極材質および膜厚を同一としても、それぞれのカットオフ周波数は $f_1 < f_3 < f_2$ となり、蒸着あるいはスパッタリングとフォトリソ工程とを 1 回ですませることが可能となった。また、主電極 2 b 領域のカットオフ周波数 f_1 とリード電極 3 b 領域のカットオフ周波数 f_3 を $f_1 < f_3$ とすることにより、リード電極領域 3 b を伝搬して漏洩する主振動の振動エネルギーを低減することが可能となり、スプリアスを抑圧すると同時に主振動の Q 値を大きくできるという効果もある。図 6 (a) では矩形の主電極 2 b を図示したが、図 5 のように楕円状の電極とすれば、容量比あるいはスプリアスがより改善できることは、有限要素法のシミュレーションおよび実験により確かめられている。

【0029】上記では、本発明を 150MHz 帯の高周波基本波水晶振動子に適用した例を説明したが、本発明はこれのみに限定されるものではなく、VHF 帯、UHF 帯のあらゆる周波数及びオーバートーンの水晶振動子に適用可能である。また、上記では、水晶基板の片面に凹陷を形成した場合を説明したが、水晶基板の両面に凹陷部を形成した場合にも適用できることは言うまでもない。また、主電極、第 2 電極の形状は矩形のみに限定することなく、円形の電極であってもよい。さらに、凹陷側に全面電極を施した場合を説明したが、両面とも部分電極であってもよく、電極材質として金と銀の場合を説明したが、アルミニウム、チタン、銅等々の電極材質、あるいはそれらの合金でであってもよく、それらの成膜法は蒸着、スパッタリング等どの様な方法であってもよい。

【0030】上記では、高周波振動子について説明したが高周波の多重モードフィルタに適用すると、スプリアス抑圧という効果があることは明白である。

【0031】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように構成したので、スプリアスを抑圧した AT カット高周波水晶振動子が製造可能となった。本発明になる水晶振動子を電圧制御水晶発振器等い用いれば、高安定、高周波および広帯域の VCXO を製作することができるという優れた効果を表す。

【図面の簡単な説明】

【図 1】(a) は本発明に係る AT カット高周波水晶振動子の構成を示す平面図、(b) はその断面図である。

【図 2】図 1 の構造の水晶振動子の周波数スペクトルを計算によって求めた図である。

【図 3】図 1 の構造の水晶振動子を作成し、その周波数スペクトルを測定した図である。

【図 4】本発明に係る第二の実施例の構成を示す平面図である。

【図 5】本発明に係る第三の実施例の構成の要部を示す平面図である。

【図 6】(a) は本発明に係る第四の実施例の構成を示す平面図、(b) は断面図である。

【図 7】従来の AT カット高周波水晶振動子の構成を示す図で、(a) は平面図、(b) は断面図である。

【図 8】従来の AT カット高周波水晶振動子の周波数スペクトルを示す図である。

【図 9】エネルギー閉じ込め理論を説明するための水晶振動子の断面図である。

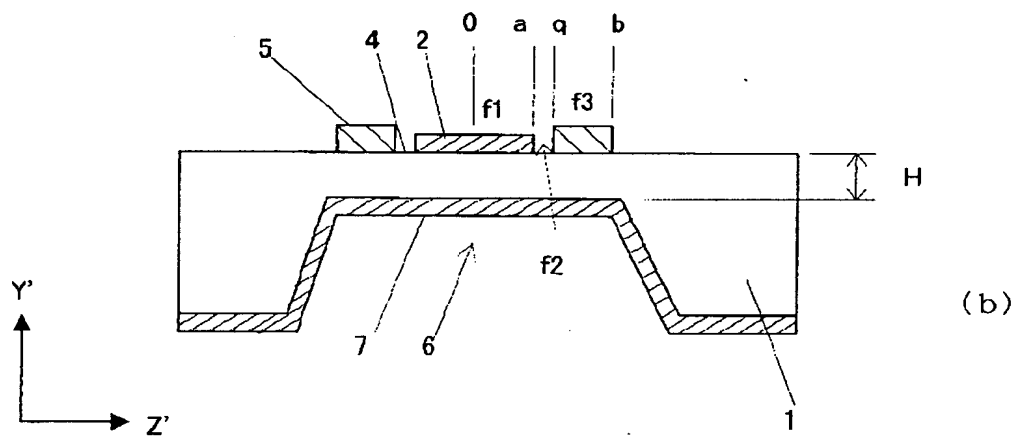
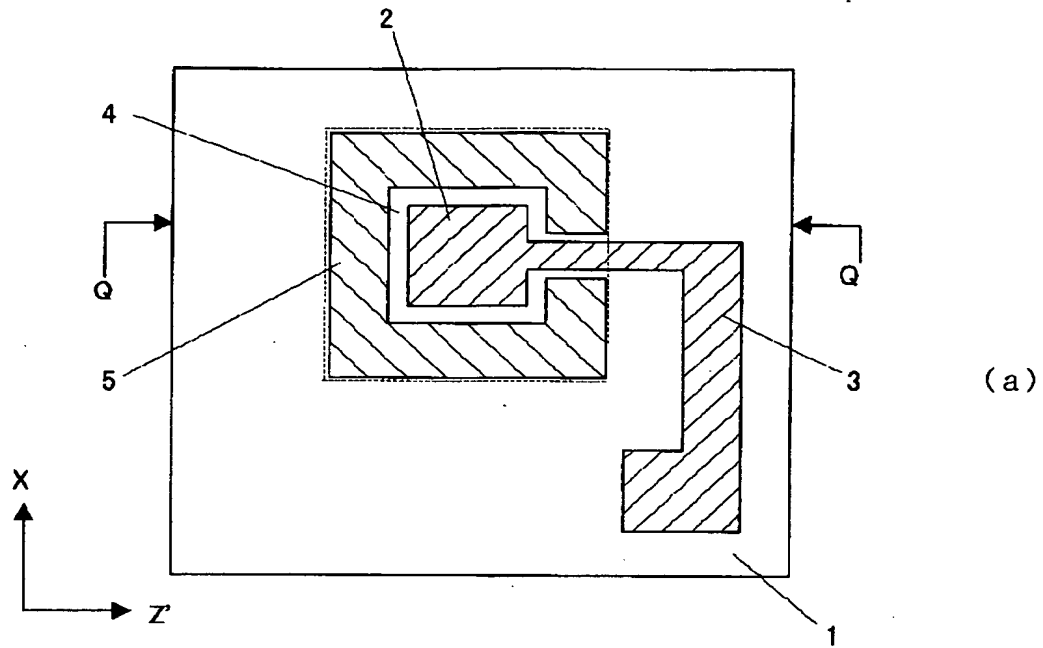
【図 10】従来の水晶振動子の周波数スペクトルを計算した図である。

【図 11】従来のスプリアス抑圧型圧電振動子の構成を示す図で、(a) は平面図、(b) は断面図である。

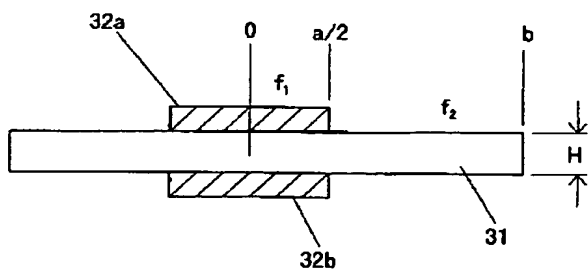
【符号の説明】

- 1・・・圧電基板
- 2、2 a、2 b・・・主電極
- 3、3 b・・・リード電極
- 4・・・間隙
- 5、5'、5 a、5 b・・・第 2 電極
- 6・・・凹陷部
- 7・・・凹陷側全面電極
- a・・・主電極の寸法
- q、b・・・主電極の中央から第 2 電極の両端までの距離
- f 1、f 2、f 3・・・カットオフ周波数
- H・・・圧電基板の厚み
- ε・・・エネルギー閉じ込め係数
- φ、φ'・・・基準化周波数
- v・・・溝深さ
- T 1、T 2、T 3、T 4・・・端子電極

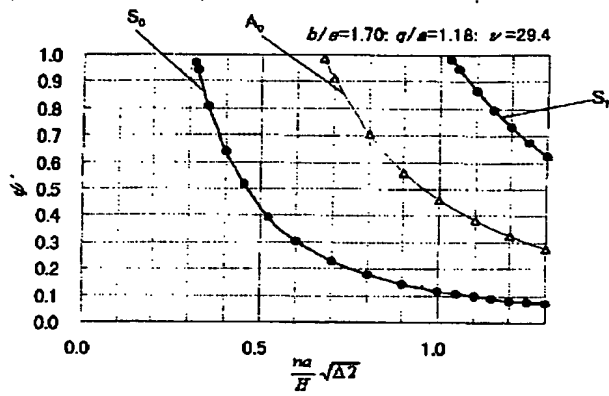
【図 1】



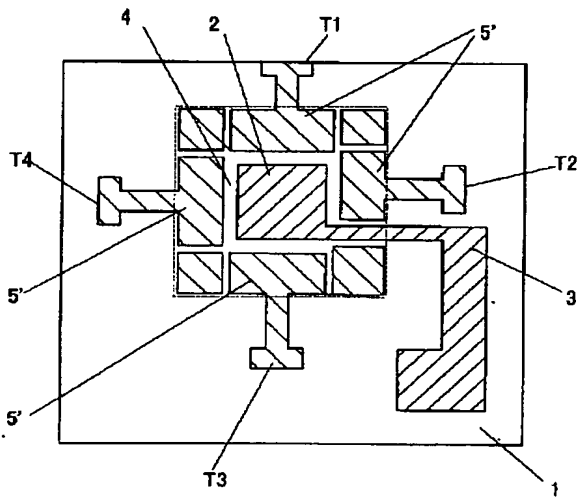
【図 9】



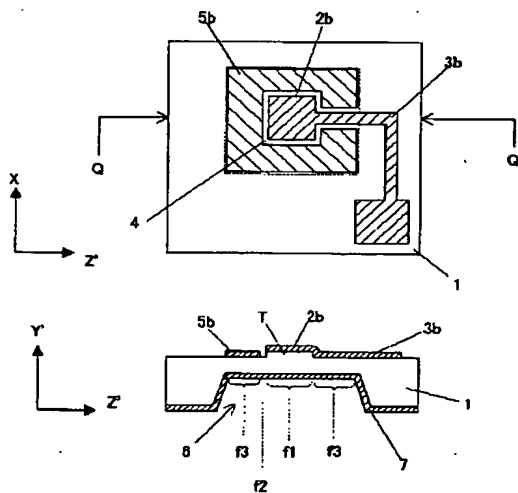
【図 2】



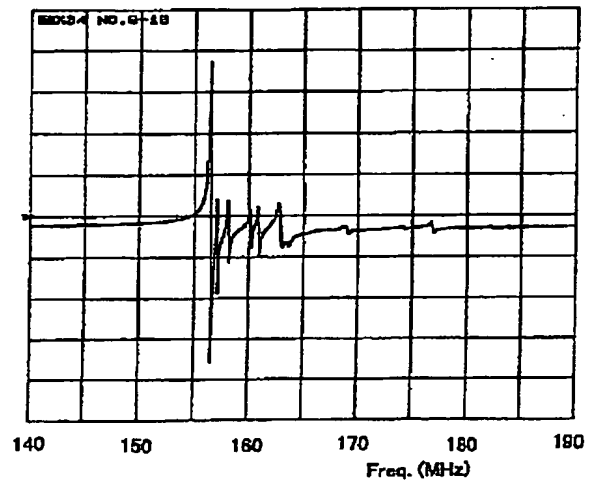
【図 4】



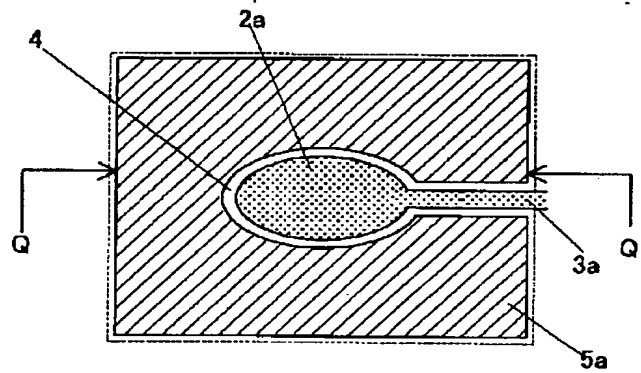
【図 6】



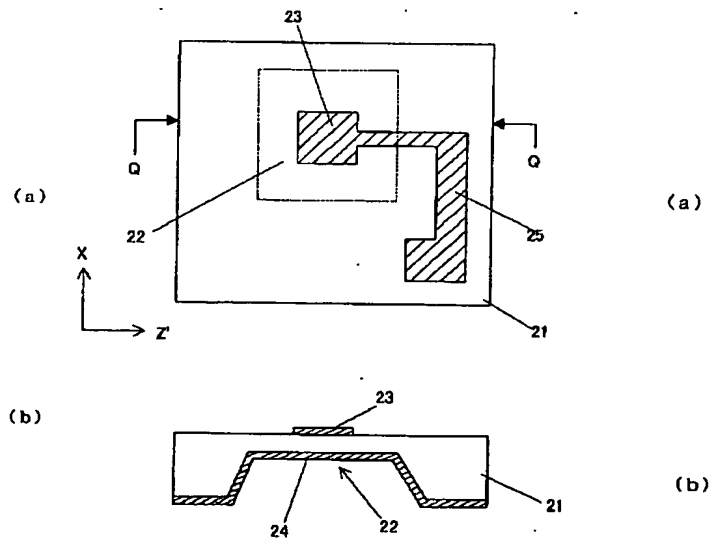
【図 3】



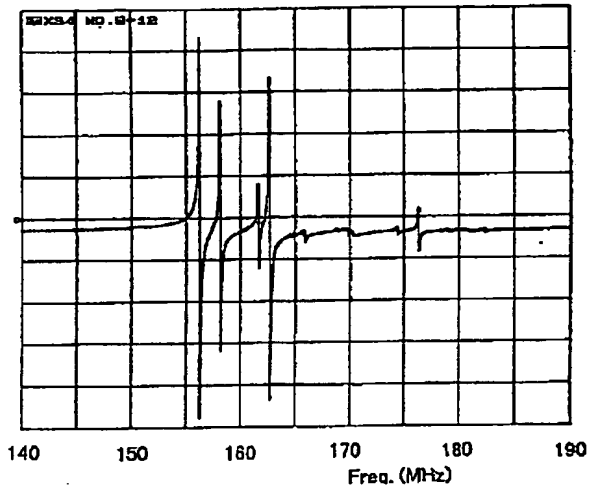
【図 5】



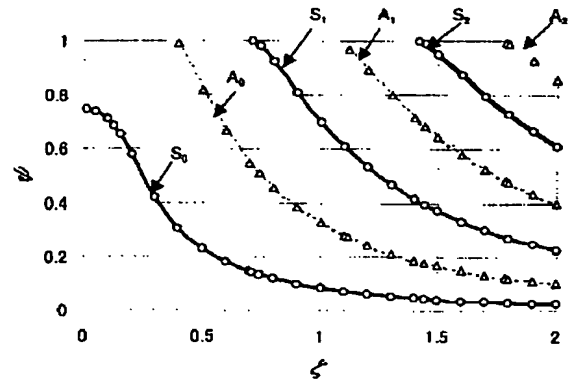
【図 7】



【図 8】



【図 10】



【図 11】

